2008年岩手・宮城内陸地震の低周波余震*

弘前大学理工学研究科 小菅 正裕

2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ

1. はじめに

低周波地震には、西南日本の深部低周波微動 [Obara (2002)] 中に見られるもの、東北日本の地殻深部及び マントル最上部で発生するもの [例えば、Hasegawa ()]、火山の火口付近で発生するものの他に、大規模地震 の余震として発生するものがある。余震中の低周波地震の振動の起源が震源にあれば、応力降下量が小さい ことが考えられ、震源に働く応力や断層の摩擦係数が小さいことなどが考えられる。しかし、低周波地震の 中には震源が浅いために表面波を励起するものや、特別な地下構造に起因する地震波を励起すると考えられ

るもの[例えば、小菅(2007)]もあるので、波形 の特徴を基に地震を精密に分類して成因を議論す る必要がある。2008年岩手・宮城内陸地震の余震 中にも低周波地震が含まれていることが報告され ている[防災科学技術研究所(2009)、気象庁 (2010)]が、抜き取り的な調査に留まっているの で、本論では2008年岩手・宮城内陸地震合同余震 観測グループによる長期間の観測データを用いて、 系統的な調査を実施した。

2. データ・方法

解析には合同余震観測グループによる観測波形 と験測値を用いた。対象期間は2008年6月15日 から9月30日までである。P波・S波到達時刻の 験測値を基にイベント波形の切り出しを行い、水 平動を radial 及び transverse 成分に変換し、P波・ S波・コーダ波部分のスペクトルを求めた(図1)。 ウィンドウ長は、P波及びS波は初動からそれぞ れ1秒及び2秒間、コーダ波はS波走時の2倍の 時刻からの4秒間とした。図2の全観測点につい てスペクトルを求めたところ、特定の周波数が卓 越したり高周波のノイズが多い観測点もあること が判明した。そこでそのような観測点は除いて、



図1 観測波形のフーリエ振幅スペクトルの例。P 波 は上下動成分、S 波は radial と tangential 成分から、コ ーダ波部分は3 成分から読み取った。時間ウィンドウ 長は、P 波は1 秒、S 波は2 秒、コーダ波は4 秒で、 その位置を波形の下に横棒で示す。P 波到達前2 秒間 をノイズのウィンドウとし、フーリエ振幅スペクトル のピーク周波数(下段の丸印)はS/N 比が5 倍以上の 場合に読み取った。

* Low frequency earthquakes among the aftershocks of Iwate-Miyagi Nairiku earthquake in 2008 by Masahiro Kosuga and the Group for the aftershock observations of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008

図2に黒三角印で表されている観測点59点でのスペクト ルを用いて以下の解析を行った。低周波地震の検出は、 得られたスペクトル中で振幅が最大となる周波数(ピー ク周波数)を用いて行った。ピーク周波数は震源距離と 地震のマグニチュードに依存する。そこで、各地震につ いてピーク周波数の対数と震源距離の関係を1次関数で 近似して、震源距離が0の場合の周波数を求めた。この 処理以降は、S/N比が5倍以上のデータが10点以上の観 測点で得られている場合について行った。次に、震源距 離が0の場合の周波数の対数とマグニチュードの関係を 1次関数で近似し、近似式からの周波数の偏差を求めた (図3)。この周波数偏差を基に低周波地震の検出を行っ た。

周波数偏差は図3に示す6成分について得たが、その 空間分布の大局的な傾向は成分によらないことがわかっ



図 3 ピーク周波数の対数とマグニチュードの
関係。両者の関係を直線で近似し、直線からの周
波数のずれを周波数偏差と定義する。各図の右上
のアルファベットの組の1文字目は位相(P波、
S 波、コーダ波)を、2文字目は成分(Zは上下
動、R は radial、T は transverse)を表す。



図 2 合同観測の観測点(三角印)と合同観 測データに含まれる地震(灰色の十字)の分 布。解析には黒三角印の観測点のデータを用 いた。



図 4 実体波の周波数偏差(横軸) とコーダ波の周波数偏差(縦軸)の相関。円は中心からの距離の標準偏差を表す。I~IV は象限を表す。

たので、実体波3成分及びコーダ波3成分ずつを平均し、各地震について実体波とコーダ波の周波数偏差を 求めた。図4の散布図では両者に明瞭な相関が見られる。すなわち、実体波が高周波の地震はコーダ波も高 周波で、実体波が低周波の地震ではコーダ波も低周波である。図4の円は中心からの距離の標準偏差で、こ の範囲内であれば「標準的」な地震と見なした。円の範囲外の第一象限の地震は高周波の地震、円の範囲外 で第三象限の地震は低周波の地震と分類した。なお、数は少ないが第四象限に分布する地震もある。これは、 実体波は低周波ではないがコーダ波が低周波の地震である。ただし、中心からの距離は第三象限の地震に比 べて短いため、低周波の度合いはそれほど顕著ではない。

図5にはここで分類した三種類の地震の波形の例を示す。上から高周波(図4の第一象限)、低周波(第三象限)、コーダ波が低周波(第四象限)の地震である。(b)に示した低周波地震は、表面波的な低周波の後続波を有することが特徴である。

3. 高周波及び低周波地震の空間分布

高周波地震の震源分布を図6に示す。高周波地震は 本震の震源(図6の星印)よりも北側では広範囲に、 南側では線状に分布する。余震域の北端と南端、及び 栗駒山周辺では少ない。断面図を見ると、震源の深さ 方向への広がりの中では相対的に深い位置に分布する ことが特徴である。

図7には低周波地震(図4の第三象限の地震)の震 源分布を示す。低周波地震は高周波地震よりも広範囲 に分布しているが、分布域は高周波地震のそれとは明 瞭に異なっている。平面的に見ると、本震震源の西側、 本震断層の南側の西部、さらにその南の鳴子火山との 間、及び断層北端部に分布する。高周波地震の発生が 多い地域では低周波地震の発生は少なく、特に、本震 断層の南側東部での低周波地震の発生はほとんど見ら れない。断面図で見ると、震源の深さ方向への広がり の中では相対的に浅い部分に分布する。このようなこ とから、高周波地震と低周波地震は明瞭に棲み分けて いることが明らかになった。

実体波は高周波でコーダ波が低周波の地震(図4の 第四象限の地震、図5(c))の震源分布を図8に示す。 このタイプの地震は数が少なく分布域も限られる。本 震震源周辺のやや浅部と、それよりも北側の余震域深 部(d断面)、及び焼石岳付近(b断面)である。注目 されるのは、これらが必ずしも浅い地震ではないこと である。



図5 図4の第一象限(a)、第三象限(b)、及び第 四象限(c)に位置する波形の例。



図6 高周波の地震(図4の第一象限で円の外側の地震)の震源分布。北北東-南南西方向の断面を左下に、 d,e,h 断面を右に示す。円の大きさはマグニチュードを、円の色は周波数偏差を表す。星印は本震の震源、 灰色の十字は合同観測データの震源の位置を表す。活火山は三角印で示されている。

4. 議論

岩手・宮城内陸地震の震源過程の研究 [例えば、Suzuki et al. (2010)] によれば、本震時のすべりが大きかった領域は本震断層南側の浅部に限られている。その領域は平面的には高周波地震の分布域(図 6) とほぼ対応するように見えるが、h 断面を見ると、高周波地震は西に傾斜した面上ではなく、その東側の深さ 3~5 kmの領域に分布する。従って、本震断層上のすべりの大きい領域と高周波地震の対応は明瞭ではない。高周波地震の発生域が低周波地震のそれよりは系統的に深部にあることは、相対的に応力が高い領域で発生していることを示すものと考えられる。

図4において、実体波の周波数偏差とコーダ波の周波数偏差の間には明瞭な正の相関が見られ、コーダ波 部分で低周波の振動が卓越する地震は、実体波部分でも低周波の傾向があることが判明した。このことは、 低周波のコーダ波の生成には、震源が浅いことの他に、震源から低周波の波が放射されたことも寄与してい ることを示唆する。低周波地震が最も集中的に発生しているのは、余震域の最南端の、鳴子火山の北東領域 の浅部である。この領域は、鮮新世から更新世前期に活動した珪長質大規模カルデラ領域[東京大学地震研 究所 (2008)]とよく対応する。同様なカルデラは栗駒山南部にも広がっており、やはり低周波地震分布域と 対応する。さらに栗駒山北部及び焼石岳周辺は火山地域であり、これらのことから、低周波地震は高温領域 において発生していると見ることができる。高温領域においては流動変形が進みやすいために高応力降下量の地震は発生しにくいと考えられる。

低周波地震は、余震域北端部にも広く分布する。岩手・宮城内陸地震では本震後の余効変動が GPS により 観測されており、その原因は断層での準静的すべりによるものと考えられている。Iinuma et al. (2009) が推定 した余効変動のすべり分布と対応させてみると、低周波地震はすべり域の西端部に位置している。ここでの 震源の深さは3km 程度あるので(図7のb断面)、西に傾斜した余効すべり断層深部で低周波地震が発生し ているように見える。

実体波は高周波でコーダ波が低周波の地震は、本震周辺やその北の断層深部にまとまって分布している(図 8)。これらの領域での低周波地震は、震源が浅いために表面波を励起したとは考えにくく、震源特性を反映 したものと考えられる。その位置の一つが本震震源付近に存在することは興味深いが、今後、他の観測結果 との比較検討を進める必要がある。

5. おわりに

本論では2008年岩手・宮城内陸地震の合同余震観測データを用い、実体波とコーダ波についてスペクトル 振幅のピーク周波数の偏差を求め、地震を(1)高周波地震、(2)実体波・コーダ波ともに低周波の地震、(3)実体 波は高周波だがコーダ波が低周波の地震、の3種類に分類して、その空間分布の特徴を調べた。結果は以下 のようにまとめられる。

(1) 高周波の地震は、主に本震の震源域の相対的に深部に分布する.

(2) 実体波・コーダ波ともに低周波の地震の一部は、栗駒山・焼石岳の周辺、鳴子の北東のカルデラ内に分 布し、高温領域で発生していることを示唆する.



図7 低周波の地震(図4の第三象限で円の外側の地震)の震源分布。

- (3) 低周波地震のうち余震域北端部で発生したものは、GPS 観測から推定された余効すべり域の西端部分(余 効すべり断層深部)に分布するように見える。
- (4) 実体波が高周波でコーダ波が低周波の地震の数は少ないが、本震震源よりもやや浅部と北側余震域深部 にまとまって分布する。ただし、その発生機構については今後の検討が必要である。

文献

防災科学技術研究所,2009,平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震余震活動中に見られる低周波卓越の 地震,地震予知連絡会会報,81,149-151.

Hasegawa, A.

Iinuma, T. *et al.*, 2009, Aseismic slow slip on an inland active fault triggered by a nearby shallow event, the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (Mw6.8), Geophys. Res. Lett., **36**, L20308, doi:10.1029/2009GL040063.

気象庁,2010,平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震調査報告,気象庁技術報告,132,187 pp.

小菅正裕, 2007, 地震波エンベロープを用いた新潟県中越地震のやや低周波の余震の検出, 月刊地球, 29, 252-256.

Obara, K., 2002,

Suzuki, W., S. Aoi, and H. Sekiguchi, 2010, Rupture process of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake derived from near-source strong-motion records, Bull. Seism. Soc. Am., **100**, 256-266.

東京大学地震研究所, 2008, 2008 年岩手・宮城内陸地震の地質学的背景,

http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/Iwate2008/geol/.



図8 実体波は高周波でコーダ波が低周波の地震(図4の第四象限で円の外側の地震)の震源分布。